

B-12 地球温暖化による都市環境の影響評価及び対策に関する研究

(2) 都市エネルギーシステムへの影響評価及び対策に関する研究

研究代表者 東京大学 松尾 友矩

環境庁 国立環境研究所

(委託先) 東京大学 松尾 友矩・花木 啓祐・一ノ瀬 俊明

平成2～4年度合計予算額 14,493千円

「要旨」地球温暖化は化石燃料を利用する近代文明の当然の帰結であるが、そうしたエネルギー消費の大部分が都市で行われており、都市の責任は大きい。一方都市には多くの人々が生活しており、温暖化の影響も大きなものであろう。本研究では都市のエネルギー消費をとりあげ、地球温暖化が都市のエネルギー消費構造（エネルギーシステム）に及ぼす影響及び都市のエネルギー消費を抑制するために「都市代謝システム」がとるべき対策についての基礎的な情報を整理した。

都市のエネルギー消費はその社会的・経済的・地理的条件によって大きく異なる。温暖化の影響を気温上昇の影響と読み替えても、都市の特性の違いが異なる影響をもたらす。本研究ではまず都市のエネルギー消費量の概略を推計し、消費構造を定量化する手法を検討した。次に都市の国際的・地域的な多様性の中でのエネルギー消費構造を調べるため、アメリカの各州、中国の各省・市、バンコク及び日本の7大都市について比較を行った。各都市の気候とエネルギー消費量との関係を整理する中で、燃料種毎に暖房デグリーマンズと家庭部門の人口1人当たり消費原単位との関係が調べられ、日本での灯油及び中国での石炭の消費量が暖房デグリーマンズと高い正の相関を持つことが示された。気温上昇時のインパクトは国によって異なり、日本では寒冷な都市においてより大きなインパクトがあることが示された。しかし暖房需要へのインパクトは、温暖化が進むとエネルギー消費量が減少する方向へ働くものである。冷房のエネルギー消費を明確に分離抽出することは出来なかったが、暖房の場合よりその影響は小さいことが考えられる。都市におけるエネルギー消費を抑制するには、都市内の未利用エネルギーをいかに有効に回収するかが課題である。下水熱・ゴミ焼却熱の有効利用を進めるための都市代謝システムのシミュレーターを開発し、東京都区部での適用性の検討を行った。これは地理情報と原単位法にもとづく熱の需給関係の分布を求め、適正なエネルギー利用システムを提案するシミュレーターである。

「キーワード」エネルギー、都市、原単位、気候、シミュレーション

1. 序

人間の諸活動に伴うエネルギー消費は産業革命以来飛躍的に増大し、地球温暖化問題の根源となっている。しかしながら、社会としての人間活動が直接反映される都市単位のようなスケールでは定量的なデータが少なく、議論が行われにくい状況にある。このため、都市活動とエネルギー

一消費の関係が捉えられておらず、エネルギー問題への対策がたてられにくくなっている。化石燃料資源の制約及び二酸化炭素の排出抑制の導入を考えると、集約的なエネルギー利用を進めて行くことはぜひとも必要であり、そのためにも都市スケールでのエネルギー消費の定量化は急務である。

都市のエネルギー消費は都市活動に依存するわけであるが、その都市が属している国家の経済・社会条件によっても複雑な影響を受け、エネルギー問題への対応も一様ではないと考えられる。また人口や経済活動の集積、広域化等都市の発展段階に応じてエネルギー消費形態にも変化が予想される。エネルギー消費構造と都市構造、気候条件、さらには経済・社会条件とを関連づけ、これらを包括的に解析するためにも、都市のサンプルを国際的に収集・比較することが必要と思われる。

また、従来統計資料にもとづく都市レベルのエネルギー消費構造解析（例えば一ノ瀬ほか、1993）は行われているものの、都市内部における細かなエネルギー消費の時空間分布構造については、未だほとんど解析されていない。エネルギー利用の集約化に当たっては、未利用エネルギーの活用で代表される都市代謝構造の最適化が必要であり、その効果を数値シミュレーション等の手法で検証する必要がある。そのためにも熱需要特性のミクロな解析、熱需要と排熱供給の時空的整合性の解析、とりわけ水供給系を用いた熱供給やゴミ焼却場の排熱利用等、要素間の連携可能性を考慮した解析が必要と思われる。

ここで都市代謝というのは、都市を一つの生物体に見立て、それが存立していくために必要とされる物質、エネルギー等の移動、変化及び収支を意味する。都市活動を支える外部入力としては電力やガス等のエネルギー、人間生活に不可欠な食料、水及びその他の物質があり、用済みとなった後では、都市排熱、排ガス、下水及びゴミとして出力されることになる。都市代謝に伴うこれらの出力は、多くの場合環境問題を生じるものであり、都市代謝システムをいかに組み上げるかは都市環境の保全、さらには地球環境の保全にとっても大きな課題を与えるものとなる。

2. 研究目的

本研究は4つの部分からなる。まずはじめに、都市におけるエネルギー消費量の推計手法を確立し、推計されたエネルギー消費量と都市の属性に関する指標との比較検討を日本の7大都市に対して行い、都市のタイプがどの程度エネルギー消費に関係するかを明らかにする（第3節）。また、都市におけるエネルギー消費構造について、中国等諸外国の都市と日本の都市とを同一の手法で解析し、その特徴についての比較検討を行う（第4節）。さらに、都市のエネルギー消費構造分析をベースに、地球温暖化が都市生活に与える影響についての評価を試みる（第5節）。加えて、都市におけるエネルギー供給及び消費、水供給及び廃水回収、ゴミの発生及び回収等、都市代謝システムの最適化を図るため、インフラストラクチャーの整備やライフスタイルの転換等、様々な現状改善シナリオのもとに、エネルギー需要量・供給量・消費量、エネルギー消費に伴う排熱量・大気汚染物質排出量、用水需要量・給水量・排水量、ゴミ発生量等の時空間分布構造の解析やコスト計算を行う、代謝構造から見た最適都市へのシナリオづくりのためのシステムを開発する（第6節）。

3. 都市におけるエネルギー消費の実態とその構造

都市におけるエネルギー消費について、家庭、製造業、交通、業務・その他（非製造業）の4つの部門毎に解析した。資料が比較的整備されていると思われる政令指定都市を中心に、札幌市、東京都区部、横浜市、名古屋市、大阪市、神戸市及び福岡市の7都市を解析対象として選んだ。

1989年における各都市のエネルギー消費（Fig.1及びFig.2）は、東京都区部では業務・その他部門が、大阪市では製造業部門が主なシェアを占めている。札幌市では灯油の消費量が極めて多く、東京都区部における電力及び都市ガスへの依存度は5割近い。大阪市及び神戸市でその他の燃料種が多いが、主に鉄鋼業による石炭コークス等である。

家庭部門（Fig.3）では東京都区部及び大阪市で高く、住宅の集積化・高層化を示している。札幌市がやや高いのは暖房需要による。製造業部門（Fig.4）では大阪市が突出しており、札幌市及び福岡市でははるかに低く、構成業種の違いを大きく反映しており、都市間での差は最大10倍程度に達する。交通部門

（Fig.5）では東京都区部、大阪市及び名古屋市で高く、鉄道が発達している都市でも乗用車による消費の比率は高い。従業者1人当たりで

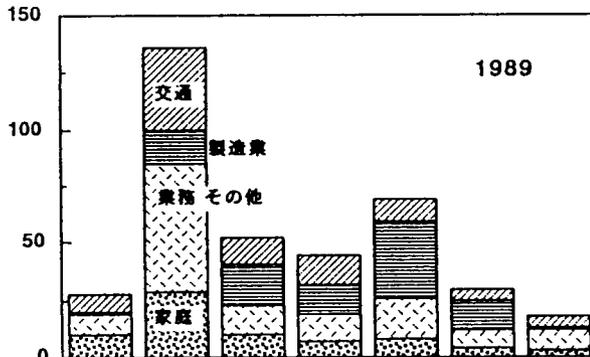


Fig.1 日本の7大都市における消費部門別エネルギー消費量 (Pcal)

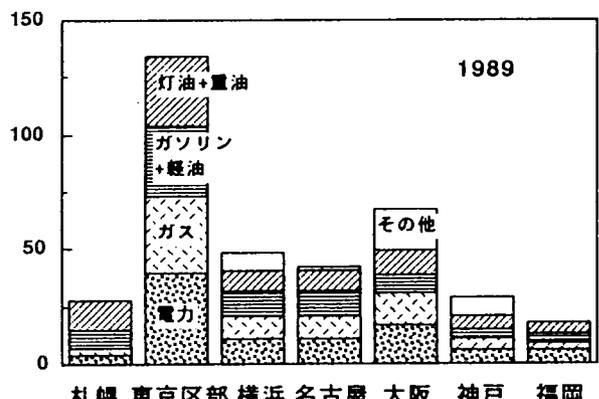


Fig.2 日本の7大都市における燃料種別エネルギー消費量 (Pcal)

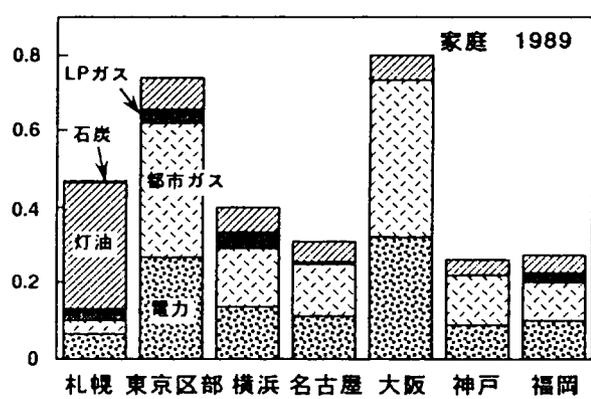


Fig.3 家庭部門におけるエネルギー消費密度 (Tcal/ha)

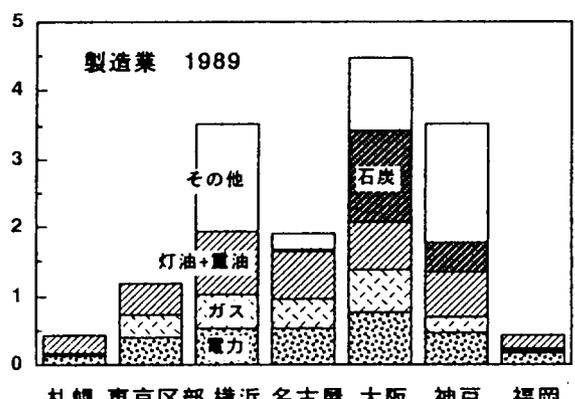


Fig.4 製造業部門におけるエネルギー消費密度 (Tcal/ha)

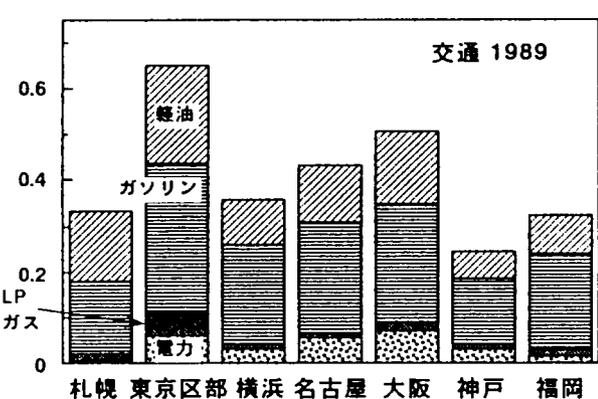


Fig.5 交通部門におけるエネルギー消費密度 (Tcal/ha)

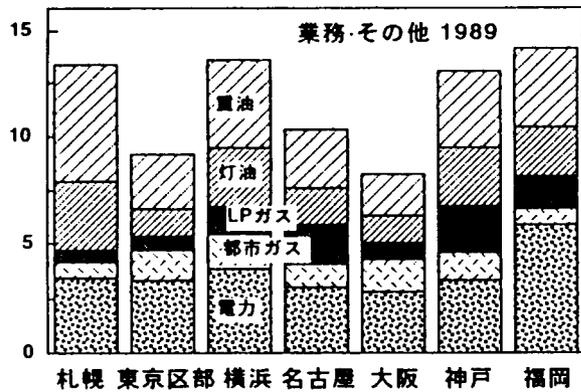


Fig.6 業務・その他部門における従業員
1人当たりのエネルギー消費量 (Gcal/人)

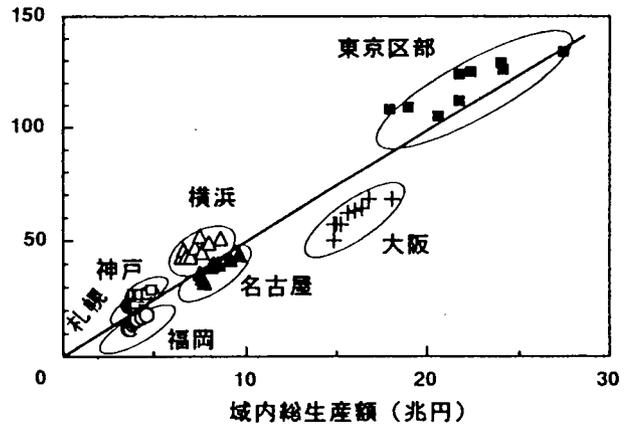


Fig.7 地域総生産額と
総エネルギー消費量 (Pcal) との関係

は、業務・その他部門 (Fig.6) においてオフィス空間での従業者密度の高い東京都区部、名古屋市及び大阪市が少ない。また各都市の総エネルギー消費量 E と総生産額 GDP との関係 (Fig.7) をみると、それぞれの都市はひとまとまりになっており、

$$E \text{ (Pcal)} = 5 \times \text{GDP (兆円)}$$

という直線的な関係がある。

4. 社会・経済条件がもたらすエネルギー消費構造の地域的差異

北京 (北京市) と東京 (東京都区部) との間でエネルギー消費構造の比較を行った。まず、都市の総エネルギー消費量では北京 (Fig.8)、東京 (Fig.9) とともに135Pcal/年前後、人口1人当たりでも東京の約17Gcal/人に対し、北京では約13Gcal/人であり、ほぼ同じオーダーとなる。部門別消費量をみると、東京では業務・その他部門が約4割、交通部門が約3割というウェイトであるが、北京では工業をはじめとする物質生産部門が約6割と突出している。燃料種構成をみると、東京では電力、ガス、ガソリン類 (軽油を含む) がそれぞれ2~3割を占めているが、北京では石炭が5割以上を占め、石炭依存型の消費構造が伺える。家庭部門においては、東京では主に電力やガス、北京では石炭に依存しているが、製

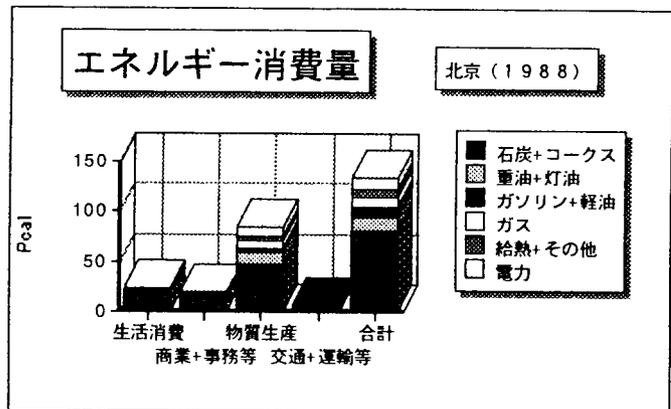


Fig.8 北京 (1988) におけるエネルギー消費量

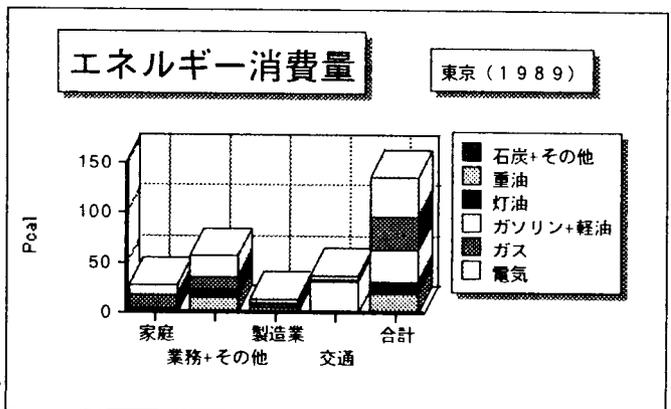


Fig.9 東京 (1989) におけるエネルギー消費量

造業部門では燃料種に若干の多様化が見られる。また中国では自動車の普及が遅れているため、北京における交通部門の割合はわずか4%程度と非常に小さい。これら両都市の間では都市あるいは社会の発展段階に相違が見られ、それが各部門や各燃料種のシェアにも反映しているものと考えられる。さらに燃料種の構成から、北京の方がエネルギー

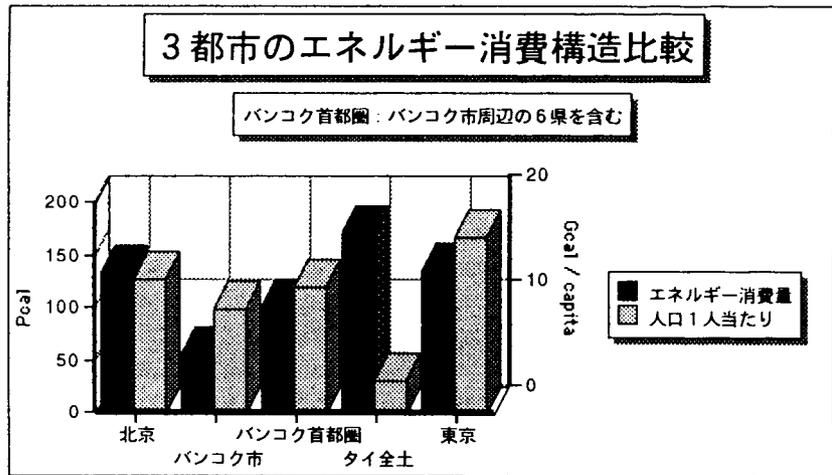


Fig.10 3都市のエネルギー消費構造比較

消費を通じて二酸化炭素や硫黄酸化物を排出しやすい構造になっているともいえる。

次にバンコクと北京、東京の3都市の比較を行った (Fig.10)。総エネルギー消費量については、バンコク市は北京市や東京都区部の半分以下であるが、人口1人当たりの原単位では3都市の間にそれほど大きな差は見られない。北京の場合は工業地域が対象地域に含まれているため、物質生産部門によるエネルギー消費が原単位を引き上げているものと思われるが、バンコクの場合工業地域は主に郊外に立地しているため、原単位としてはバンコク首都圏の方が大きくなっている。

一方、アメリカの家庭部門における人口1人当たりの原単位は全米平均で約18Gcal/人に及び、東京の約3Gcal/人 (平松ら, 1992) と比べてもかなり大きい。各州の都市人口率と原単位の関係 (Fig.11) によれば都市化が原単位を減少させる効果が見られ、これは都市化によって人口1人当たりの床面積が減少するためと考えられるが、このような傾向は都市部と農村部とで生活格差の大きい発展途上国では、ライフスタイルの変化による消費量の増加にマスクされてしまうものと思われる。

アメリカをはじめ先進国においては、都市部と農村部との間にライフスタイルや商業活動の大きな相違がなく、必ずしも大都市に工業が立地するわけではないため、都市部と農村部でのエネルギー消費に関わる原単位の差は小さいものと思われる。しかし発展途上国の都市は単に人口が集積した場ではなく、人間活動が本質的に農村部と異なっている場と考えなければならない。中国の28省・市について、人口1人当たりの原単位と社会総産値百万円 (日本円) 当たりの原単位との関係をFig.12に示す。都市に人口が集中していく過程では、人口増や生産増の効果と人口1人当たりの原単位が増える効果が相乗的に働くことにより、エネルギー消費量が急速に増大することが考

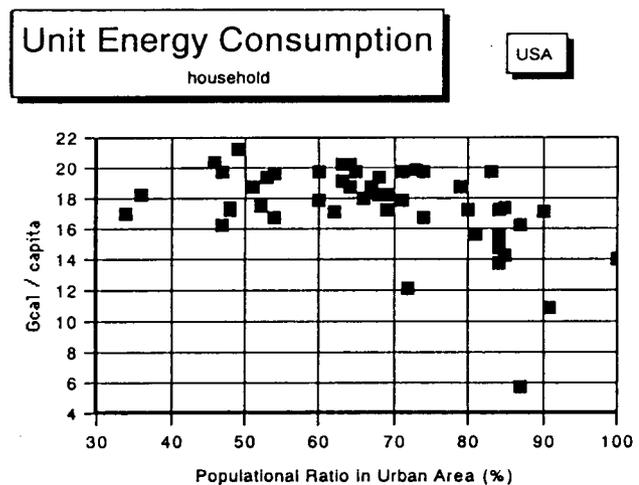


Fig.11 Correlation between population ratio in urban area and per capita energy consumption in USA.

えられる。北京、天津、上海の3大特別市では人口1人当たりのエネルギー消費量が際だって大きい。これらの都市ではエネルギーが無駄に使われているのではなく、社会総産値ベースで見れば省部に比べむしろ低めとなっている。

以上から都市の発展段階とエネルギー消費の関係は、次のようにまとめられる。発展途上国の場合都市部と農村部の生活格差は大きく、それがエネルギー消費構造にも現れている。現在の農村部が都市化するとエネルギー消費量は飛躍的に増大し、特に工業化が消費量を押し上げる要因となる。ところが中国の3大特別市においては脱工業化・商業化により、少ないエネルギー投入で高い収益が得られるようになっている。一方日本の大都市については、大阪や神戸といった工業都市に比べ、東京では人口1人当たりの原単位は小さい（平松ら、1992）。今後中国でも市場経済の発達に伴って脱工業化、商業化が進み、さらに都市の高密度化、エネルギー利用の集約化が進むとすれば、エネルギー消費の原単位は人口1人当たりでみても小さくなっていくことが考えられる。

5. 気温変化が都市のエネルギー消費活動に与える影響

Fig.13は日本の都道府県庁所在地等48都市における家庭部門燃料種別消費原単位（人口1人当たり）と基準温度を18℃とした場合の暖房デグリーアワーとの関係を示したものである。家庭部門において灯油は暖房用途のみに消費され、1人当たり消費原単位UEC（Mcal/人）と暖房デグリーアワーHDH（K・hour）との間には、

$$UEC = 2.78 \cdot 10^{-19} HDH^{4.5} + 385.09$$

（相関係数は0.94）なる関係が見られる。一方電気は0.7Gcal/人前後で一定であり、その他の燃料種や冷房デグリーアワーに至っては、いずれも高い相関は得られなかった。これは冷房期間が短いことや、冷房には主に電気が用いられ、その用途が暖房・機器等多岐にわたるため、冷房以外の要素が大きく消費量に関与しているためと思われる。

また中国の28省・市に対しても同様の解析を行った。Fig.14は暖房デグリーマンズ（HDM）と原単位との関係である。中国の

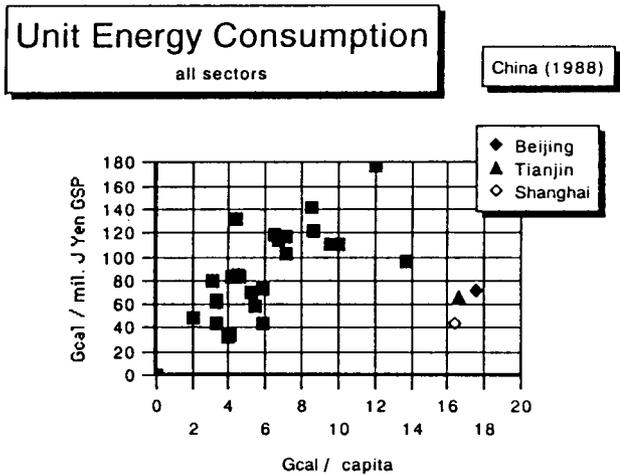


Fig.12 Correlation between per capita and per GSP energy consumption in China.

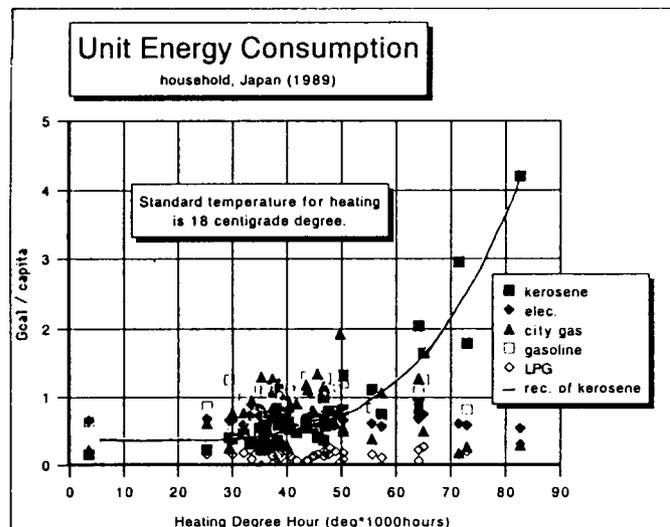


Fig.13 Correlation between heating degree hour and per capita energy consumption in Japan.

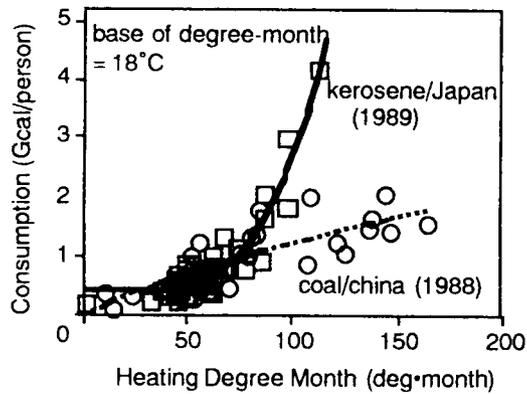


Fig.14 Dependency of per capita energy consumption on temperature.

石炭は日本の灯油同様相関が高く、

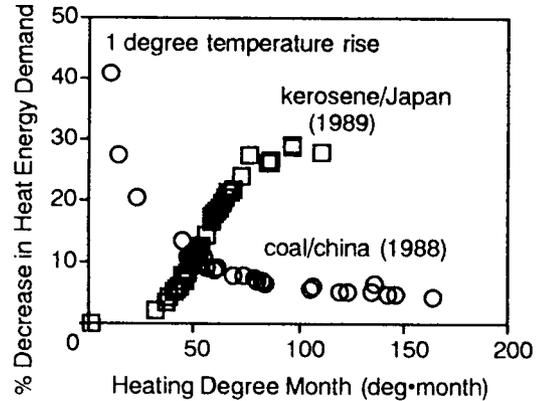


Fig.15 Sensitivity of heat demand against temperature rise.

$$UEC = 53.46HDM^{0.7} - 139.23$$

(相関係数は0.78)なる関係が得られた。日本の灯油についても、

$$UEC = 3.6 \cdot 10^{-6}HDM^{4.4} + 390.69$$

(相関係数は0.94)なる関係が得られたと同時に、デGREEアワーを採用してもあまり回帰式の精度が高くないことが明らかにされた。中国ではエネルギー消費が気温に対して日本ほど敏感ではなく、東京における灯油の消費原単位は中国の石炭の回帰直線付近に位置するが、札幌では類似の気候を持つ地方の約3倍の値となっている。

次に、年平均気温が1℃上昇した場合の暖房デグリーマンズの減少を計算し、それにもとづいて暖房需要(エネルギー消費原単位)の減少(地球温暖化による負のフィードバック)を見積もった(Fig.15)。温暖化のシナリオとしては毎月一律1℃の上昇を仮定した。暖房デグリーマンズが80強の長野市と北京市ではそれぞれ397Mcal/人(27%)、70Mcal/人(7%)の減少が生じるのに対し、50前後の東京都区部と上海市ではそれぞれ35Mcal/人(8%)、69Mcal/人(10%)の減少となり、両国の間には気候に対する暖房需要の明瞭なレスポンス(回帰式におけるXのべき数)の相違が見られる。中国における気候に対する特異なレスポンスがエネルギーの配給制によるものであるならば、今後市場経済が進展し、生活水準の向上やエネルギー供給の自由化が起こった場合エネルギー消費の急激な増加は避けられず、地球環境保全の視点からも放置できない問題といえる。

また年平均気温1℃の上昇といえども、どの季節(どの時間帯)が高温化するかにより暖房デグリーマンズ(アワー)の値は異なるため、温暖化が暖房需要へ与える影響を正確に見積もることは難しい。例えば通年一律で毎時1℃上昇するケースと、10時~15時の間だけ4℃上昇するケースを比較してみると、長野市において前者は415Mcal/人(27%)の減少となるのに対し、後者は323Mcal/人(21%)の減少となる。

6. 地理情報を用いた都市代謝システムの最適化シミュレーション

東京23区をフィールドに都市構造とエネルギー消費との関係を明らかにするため、東京都都市計画局作成・昭和56年度及び61年度東京都土地利用現況調査（区部）の25mポイントデータ（建物用途分類・約20種，建物の有無，建物階数）を用いて計算された250mメッシュ毎の建物用途別延べ床面積，東京都区部における部門別燃料種別エネルギー消費量（平松ら，1992），業種別用途別熱負荷設計基準値・季節変化及び日変化（（株）大阪ガス，1991及び日本地域冷暖房協会，1992）等の資料をもとに，建築用途別単位延べ床面積当たりエネルギー消費量を算出し，土地利用情報を用いて，東京23区におけるエネルギー消費量分布の季節変化・日変化のデータセットを作成した。暖房・冷房・給湯については，ほとんどの業種について基準値や変動特性に関する情報がこれらの資料で与えられている。その他の用途（機器等）に関しては，平松ら（1992）の値（全用途の合計）から，前述の3大用途の基準値を積み上げて推計した値を差し引いた残差を当て，適当な変動パターンを設定した。製造業部門については用途を分けず，交通部門は自動車（ガソリン等）と鉄道（電力）に分類した。

今回開発された都市代謝シミュレーションシステムは，基本情報として人口・世帯数及び土地利用種別延べ床面積等のメッシュデータ，各種カテゴリー別原単位（エネルギー消費量や下水・ゴミ発生量等），各種係数（ヒートポンプの熱効率等），都市基盤施設の位置及び地図情報を有し，ある特定地域のエネルギー消費量，未利用エネルギー利用可能量等を算定・表示することが可能である。システム本体はワークステーション上で作動する。このシステムでは，下水道とゴミ焼却場の温熱を利用可能なものとして捉え，任意に設定された対象供給領域内の下水道幹線の結合点にヒートポンプをおいた場合得られるであろう温熱量と，ゴミ焼却場から得られるであろう温熱量を集計して表示し，供給量やその需要量に占める割合を算定することが可能である。

Fig.16は建物用途別熱負荷変動の例である。業務系では昼間に需要のピークを持つのに対し，宵の口にピークを持つのが家庭における需要の特徴である。暖房は午前中の需要が高いのに対し，冷房は昼間の需要がほぼフラットに近い。また，1年を通じ毎時の対一日比は不変とした。

Fig.17はシステムの実出力例（東京23区におけるエネルギー消費密度分布）である。いずれも1メッシュは250mであり，昼には業務機能の集積している都心において消費量が大きく，丸の内，新宿，渋谷，池袋の高密度地域や，皇居等の大規模緑地を容易に見い出し得る。特に都心におけるピーク値は郊外の50

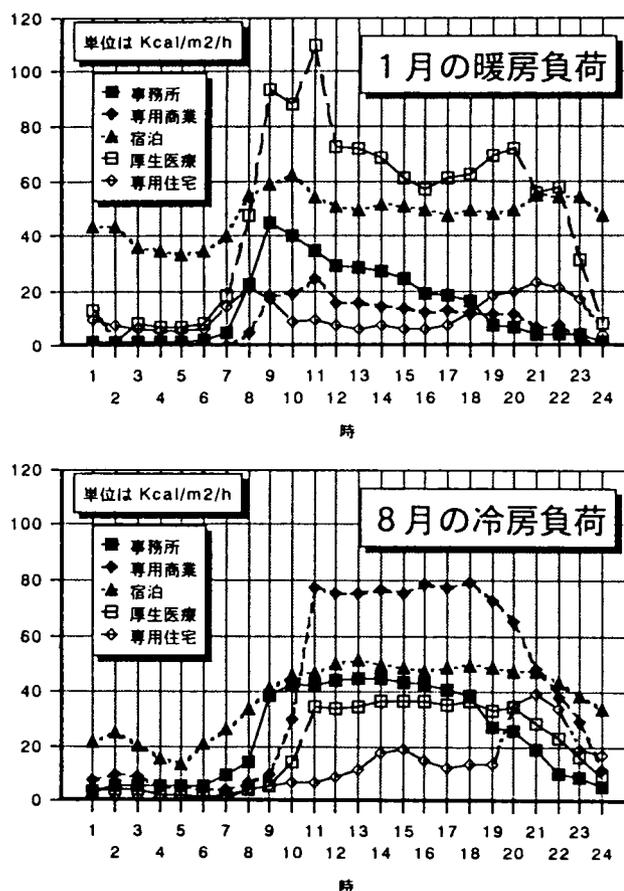
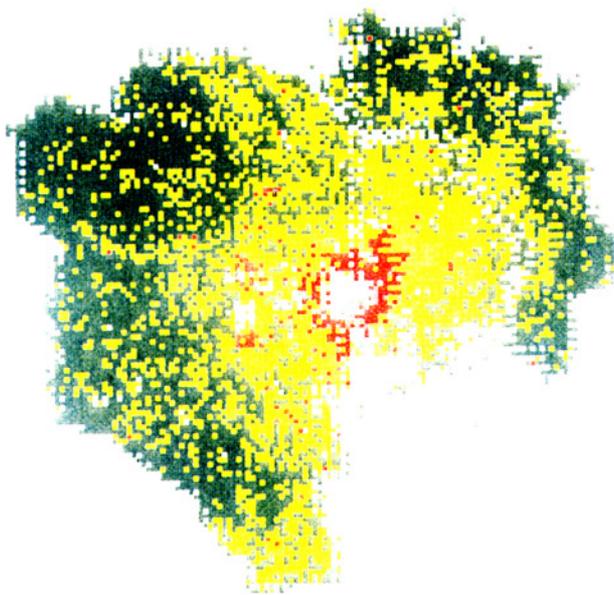
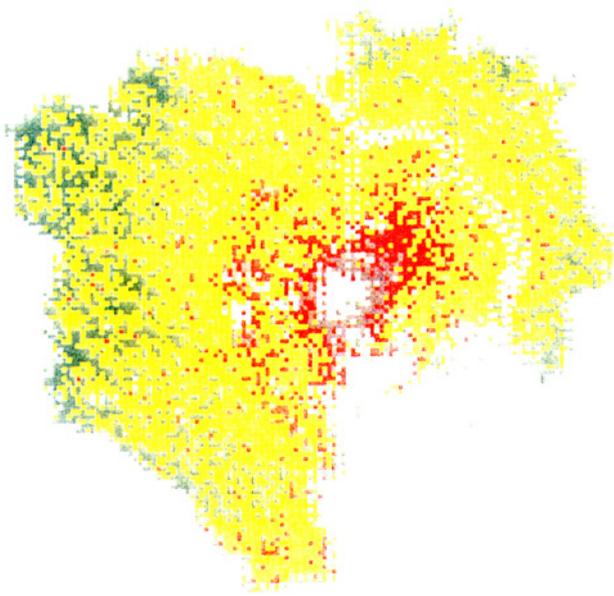


Fig.16 建物用途別熱負荷変動の例



凡例変更		階層
1	0.000000.00 - 1000000.00	1階
2	1000000.00 - 2000000.00	
3	2000000.00 - 4000000.00	
4	4000000.00 - 10000000.00	2階
5	10000000.00 - 15000000.00	
6	15000000.00 - 21000000.00	
7	21000000.00 - 26000000.00	3階
8	26000000.00 - 36000000.00	
9	36000000.00 - 48000000.00	
10		4階
11		
12		
13		
14		
15		
16		

Fig.17 都市代謝シミュレーションシステムの出方例
 (東京23区におけるエネルギー消費密度分布)
 <左上>冬の昼間
 <右上>冬の夜間
 <左下>冬の昼間(燃料油のみ)
 <右下>凡例(単位はKcal/6.25ha/h)

倍近くに達する。また燃料油のみを取り上げても同様の分布傾向が伺える。一方夜には、都心と郊外との格差は3倍以内におさまり、全域的に低いレベルに落ち着く。

本システムは現在も改良の途上であり、今後具体的な下水道幹線流域等を対象として、回収可能な温熱量の見積りを進めていく予定である。

7. 本研究により得られた成果

都市におけるエネルギー消費量の概略を推計、消費構造を定量化する手法を確立した。エネルギー消費のデータを入手せずに都市の各種統計等のみからエネルギー消費量を推定することは、部門により多少の差はあるものの、ある程度可能であると考えられるが、この解析結果を他の都市に適用するには、都市の社会・経済条件及び規模が類似していること等、様々な制約条件がある。

(1) エネルギー消費に対する都市化の影響

都市におけるエネルギー消費構造の国際的・地域的な多様性が認められた。とりわけ中国における石炭依存型・物質生産依存型の消費構造や、アメリカにおける消費原単位の大きさ・一様性が注目された。発展途上国の場合都市部と農村部の生活格差は大きく、それがエネルギー消費構造にも現れている。都市化はエネルギー消費量を飛躍的に増大させ、特に工業化が消費量を押し上げる。一方先進国の場合都市部と農村部の格差は小さく、都市化はエネルギー消費量を減少させる要因と捉えることもできる。発展途上国における今後の都市化や市場経済の発達は、エネルギー消費の急激な増大をもたらすことが予想される。

(2) エネルギー消費に対する気温変化の影響

燃料種毎に暖房デグリーマンズ（アワー）と家庭部門の人口1人当たり消費原単位との関係が明らかにされ、日本の灯油並びに中国の石炭において高い正の相関が得られた。年平均気温1℃の上昇に対しては、一日を通じ一様に上昇するケースに比べ、昼間のみ上昇するケースの方が燃料消費に与えるインパクトは小さい。また上昇時のインパクトは国によって異なり、日本では寒冷な都市ほどインパクトは大きい。

(3) 都市設計への応用

都市代謝シミュレーションシステムの開発並びに東京都区部をフィールドとした解析が行われ、地理情報と原単位法にもとづく熱需要分布の現状把握や都市代謝構造の最適化によるエネルギー消費量削減効果の見積が行われた。

今後の課題として、都市におけるエネルギー消費活動が、排熱や大気環境負荷(大気汚染物質)の放出を通じて、実際にどれだけ大気環境にインパクトを与えているのかを、都市構造やエネルギー消費に係わるライフスタイルをパラメーターに説明づけを行い、さらにそのインパクトを、気温や風等わかりやすい気象要素で定量化することが考えられる。具体的には地表面熱収支モデルや都市気象モデルを活用し、エネルギー消費量のインプットから得られるアウトプットと実際の気象環境データをメッシュ値で照合することになる。この過程で都市代謝シミュレーションシステムのアウトプットを用いることにより、都市代謝構造の最適化が大気環境改善にどれだけ寄与できるかを定量化することも可能である。さらには国内外諸都市の比較と合わせ、理想的省エネ都市像の提示を行っていくことも考えられる。

海外における現地調査に際し、温かいサポートを頂いた（財）日本エネルギー経済研究所のスタッフに感謝します。また川原博満氏をはじめとする（株）富士通エフ・アイ・ピーのスタッフには、シミュレーションソフトウェアの開発支援等様々な御尽力を頂いた。

主な参考資料

<国内>

（株）大阪ガス（1991）：建物負荷データ集，354p.

（財）自動車検査登録協会の（1990）：「市区町村別自動車保有車両数」，545p.

政令指定都市及び東京都区部：「大都市比較統計表」

総務庁統計局（1990）：「家計調査年報 平成元年」，509p.

総務庁統計局（1990）：「小売物価統計調査年報 平成元年」，646p.

通商産業省：「工業統計表」

通商産業省大臣官房調査統計部編（1989）：「昭和62年 石油等消費構造統計表（商鉱工業）」，660p.

日本地域冷暖房協会（1992）：地域冷暖房技術手引書，223p.

<海外>

北京社会経済統計年鑑（1991）

中国能源統計年鑑（1989）

中国統計年鑑（1991）

以上は中国統計出版社の発行である。これらは国家や省，市の統計局によって編集されている。
Economics and Commerce Statistics Administration, USA : Statistical Abstract of The United States 1980, 1991, 1992
Energy Information Administration, USA : Annual Energy Review 1990
Energy Information Administration, USA : Household Energy Consumption and Expenditures 1987 part1, part2
Thailand Development Research Institute : Industrializing Thailand and Its Impact on the Environment ---- The 1990 TDRI Year-end Conference
U.S Department of Economics and Commerce Statistics Administration : Statistical Abstract of the United States

国際協同研究等の状況

海外における現地調査に際し，中国・国家計画委員会エネルギー研究所（1992年3月），ドイツ・シュトゥットガルト市環境保護局，スウェーデン・ジードクラフト（Sydkraft）社，スウェーデン建築研究協会（Swedish Council for Building Research），ストックホルムエネルギー供給公社（Stockholm Energi），ストックホルム市統計局（以上1993年3月）のサポートを得た。

研究発表の状況

平松直人・花木啓祐・松尾友矩（1990）：都市の諸活動に起因するエネルギー消費量の推計，

環境システム研究, 18, 107-111

平松直人・花木啓祐・松尾友矩(1992) : エネルギー消費の大都市間比較, 環境システム研究, 20, 252-261

一ノ瀬俊明・花木啓祐・松尾友矩(1992) : 気温とエネルギー消費構造の関係から見た地球温暖化の都市生活への影響, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, 62, 218

一ノ瀬俊明・花木啓祐・松尾友矩(1993) : 都市におけるエネルギー消費構造の国際比較, 環境工学研究論文集, 30, 371-381